

Tính toán thiết kế vật kính ảnh nhiệt sử dụng thấu kính dạng phi cầu cho các khí tài quan sát cầm tay

Phạm Đình Quý^{*1}, Nguyễn Anh Tuấn¹, Mai Nguyệt Công¹,
Phan Mạnh Cường², Khương Hữu Trọng³, Nguyễn Minh Đường³

¹Viện Vật lý Kỹ thuật, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;

²Bộ Tư lệnh Thủ đô Hà Nội;

³Bộ Chỉ huy quân sự Tỉnh Vĩnh Phúc.

*Email liên hệ: dragonbm88@gmail.com.

Nhận bài ngày 25/9/2021; Hoàn thiện ngày 11/11/2021; Chấp nhận đăng ngày 12/12/2021.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.76.2021.127-136>

TÓM TẮT

Vật kính ảnh nhiệt sử dụng thấu kính dạng phi cầu giúp tăng chất lượng vật kính, giảm số lượng thấu kính qua đó giảm khối lượng vật kính ảnh nhiệt đã được đề xuất và tính toán thiết kế. Kết quả thiết kế bằng phần mềm Zemax cho thấy hàm MTF, cầu sai, sắc sai, méo ảnh và tán xạ điểm ảnh tương đương và tốt hơn khi so sánh với chất lượng quan sát ảnh của vật kính ảnh nhiệt sử dụng ba thấu kính cầu. Những kết quả này có thể áp dụng để chế tạo vật kính ảnh nhiệt sử dụng cho thiết bị ống nhòm đa kênh cầm tay.

Từ khóa: Ống nhòm đa kênh; Ảnh nhiệt; Phi cầu; Zemax.

1. MỞ ĐẦU

Các thiết bị ảnh nhiệt ngày càng được sử dụng rộng rãi trong cả lĩnh vực quân sự cũng như dân sự nhờ những ưu điểm vượt trội so với các thiết bị quan sát khác, đó là: sử dụng được cả ban ngày và ban đêm; có thể sử dụng trong điều kiện tối hoàn toàn chỉ cần có bức xạ nhiệt phát ra từ mục tiêu; khả năng phát hiện nhận dạng đối tượng tốt; không bị ảnh hưởng bởi các nguồn sáng mạnh [1, 2].

Công nghệ ảnh nhiệt ra đời từ những năm 1970, tuy nhiên, đối với nước ta mới chỉ được quan tâm nghiên cứu khoảng 10 năm trở lại đây [3-5]. Những nghiên cứu ban đầu chủ yếu tập trung vào nghiên cứu lựa chọn đầu thu nhiệt với các thông số về độ phân giải ma trận, kích thước phần tử đầu thu, độ nhạy nhiệt NETD, hay phương pháp tối ưu quang học hạn chế hiệu ứng Narcissus cho vật kính ảnh nhiệt [6], một số nghiên cứu về nghiên cứu chế tạo mô đun tạo ảnh từ ma trận thu bức xạ nhiệt sử dụng công nghệ FPGA [7]. Việc nghiên cứu thiết kế, chế tạo các vật kính quang học sử dụng các thấu kính dạng phi cầu là một nội dung còn mới, chưa có nhiều nghiên cứu trong nước. Nguyên nhân chính là chi phí gia công thấu kính phi cầu rất cao so với thấu kính cầu, hơn nữa, yêu cầu về mức độ gọn nhẹ của sản phẩm chưa được chú trọng. Tuy nhiên, với sự phát triển của công nghệ gia công, chi phí gia công các thấu kính phi cầu ngày càng giảm, tạo điều kiện để sử dụng rộng rãi hơn các thấu kính này trong các thiết bị ảnh nhiệt. Bên cạnh đó, các thiết bị ảnh nhiệt có yêu cầu ngày càng cao trong việc gọn nhẹ, tối ưu về kích thước, khối lượng, vì vậy sử dụng thấu kính phi cầu trong các hệ quang của thiết bị đang trở thành xu hướng tất yếu [9]. Trong công trình [5], một vật kính ảnh nhiệt sử dụng 3 thấu kính cầu với tiêu cự $f = 100 \text{ mm}$, $F\# = 1.2$ áp dụng cho đầu thu không làm lạnh kích thước 640×480 pixels đã được gia công chế tạo và thử nghiệm. Kết quả cho thấy vật kính bảo đảm các yêu cầu về chất lượng sản phẩm trên lý thuyết và thực tế. Với mục đích giảm số lượng thấu kính mà vẫn đảm bảo chất lượng ảnh, trong bài báo này chúng tôi đề xuất phương án vật kính ảnh nhiệt sử dụng hai thấu kính mặt phi cầu. Nghiên cứu này sẽ giải quyết các vấn đề trọng tâm như:

- Đưa ra phương trình toán học cơ bản của bề mặt phi cầu, trên cơ sở đó đưa ra biểu thức quan hệ giữa cầu sai và hệ số bề mặt, chứng minh ưu điểm của bề mặt phi cầu. Đưa ra các phân tích về ưu điểm sử dụng thấu kính phi cầu so với thấu kính cầu.

- Sử dụng phần mềm Zemax thiết kế vật kính ảnh nhiệt sử dụng thấu kính dạng phi cầu; so sánh với một số vật kính tương tự đã thiết kế trong nước và của nước ngoài để làm rõ ưu điểm về chất lượng hệ quang và khối lượng của vật kính được thiết kế.

- Kết quả nghiên cứu của bài báo sẽ được áp dụng để gia công chế tạo vật kính ảnh nhiệt ứng dụng vào thực tế, khẳng định việc làm chủ nghiên cứu, thiết kế và chế tạo các khí tài ảnh nhiệt của đội ngũ trong nước.

2. CƠ SỞ THIẾT KẾ

Trong thiết kế quang học truyền thống thường sử dụng các chi tiết quang học có bề mặt cầu. Ưu điểm khi sử dụng các chi tiết quang học có bề mặt cầu là dễ gia công, lắp ráp, bên cạnh đó việc kết hợp nhiều các mặt cầu cũng làm giảm quang sai, tăng chất lượng ảnh. Tuy nhiên, sử dụng nhiều các chi tiết trong hệ quang sẽ làm tăng khối lượng, kích thước, từ đó làm ảnh hưởng đến việc sử dụng cho các thiết bị yêu cầu gọn nhẹ [11-14].

Khi sử dụng các thấu kính cầu sẽ xuất hiện cầu sai trong ảnh tạo bởi hệ quang, cầu sai luôn xuất hiện và không phụ thuộc nhiều vào sai số lắp ráp hoặc chế tạo các thấu kính cầu. Nói cách khác, một thấu kính hình cầu được thiết kế và chế tạo hoàn hảo vẫn có cầu sai. Để giải quyết vấn đề này người ta sử dụng thấu kính có bề mặt dạng phi cầu (gọi tắt là thấu kính phi cầu) [8, 9, 18, 19].

Trong hệ tọa độ (x, y, z), các bề mặt cầu biểu diễn theo công thức (1) như sau [18, 19]:

$$r^2 = x^2 + y^2 + (z - r)^2 \quad (1)$$

Trong đó, r là bán kính cong mặt cầu. Các bề mặt không có dạng cầu được gọi là bề mặt phi cầu, khi đó giá trị đặc trưng cho bề mặt phi cầu là độ võng (hoặc độ sâu). Đối với các bề mặt dạng conic (gồm mặt cầu, mặt parabol, mặt hyperbol, mặt elip) độ võng bề mặt xác định theo tọa độ z có dạng sau [18, 19]:

$$z(h) = \frac{h^2 \cdot \rho}{\left(1 + \sqrt{1 - (1+k)(h\rho)^2}\right)} \quad (2)$$

Trong đó: $h = \sqrt{x^2 + y^2}$ là bán kính hướng tâm; $\rho = \frac{1}{r}$ là độ cong bề mặt; k là hệ số conic.

Đối với bề mặt phi cầu dạng tổng quát, trong công thức tính độ võng bề mặt có thêm thành phần độ võng bề mặt hiệu chỉnh (polynomial surfaces) được biểu diễn dạng đa thức, khi đó độ võng bề mặt chung được thể hiện theo công thức sau [8, 9, 18, 19]:

$$z(h) = \frac{h^2 \cdot \rho}{\left(1 + \sqrt{1 - (1+k)(h\rho)^2}\right)} + f(h) = \frac{h^2 \cdot \rho}{\left(1 + \sqrt{1 - (1+k)(h\rho)^2}\right)} + \sum_{n=1}^N \alpha_{2n} h^{2n} \quad (3)$$

Trong đó: $f(h)$ biểu thị độ võng bề mặt đa thức; α_{2n} là các hệ số bậc hiệu chỉnh độ võng bề mặt và α_{2n} có đơn vị khác nhau theo bậc của từng hệ số, đơn vị là: $1/(\text{chiều dài})^{2n-1}$.

Trong trường hợp riêng của bề mặt có dạng cầu khi $k = 0$, các hệ số hiệu chỉnh bằng không và do đó, $f(h) = 0$. Theo công thức tính quang sai bậc 4, giá trị cầu sai khi tia sáng đi qua một bề mặt biểu diễn dưới dạng [18, 19]:

$$W_{040} = -\frac{1}{8}(n \cdot \sin(u) + n \cdot h \cdot \rho)^2 \cdot h \cdot \left(\frac{\sin(u')}{n'} - \frac{\sin(u)}{n}\right) - \frac{1}{8}k \cdot \rho^3 \cdot h^4 (n' - n) \quad (4)$$

Trong đó: n, n' là chiết suất môi trường hoặc vật liệu ở bề mặt tia tới và bề mặt tia khúc xạ; u, u' là góc tạo bởi tia biên và trục quang học của thấu kính trước và sau khúc xạ.

Đối với bề mặt sau cùng của hệ quang, vì các góc u , u' rất nhỏ, khi đó:

$$\sin(u) \approx u; \sin(u') \approx u' \quad (5)$$

Thay (5) vào (4), biểu thức (4) nêu trên sẽ trở thành:

$$W_{040} \approx -\frac{1}{8}(n \cdot u + n' \cdot h \cdot \rho)^2 \cdot h \cdot \left(\frac{u'}{n'} - \frac{u}{n} \right) - \frac{1}{8}k \cdot \rho^3 \cdot h^4 (n' - n) \quad (6)$$

Từ công thức (6) có thể thấy, đối với bề mặt cầu khi hệ số $k = 0$ thì giá trị cầu sai W_{040} luôn khác 0, nghĩa là luôn tồn tại cầu sai khi tia sáng đi qua các bề mặt cầu. Mặt khác từ công thức (6) có thể nhận ra rằng, cầu sai ở bề mặt sau cùng của hệ quang tỉ lệ thuận với chiều cao tia biên h và hiệu $(u'/n' - u/n)$. Do đó, trong thiết kế quang học, để giảm cầu sai cần sử dụng kết hợp nhiều bề mặt cầu với mục đích giảm giá trị h và $(u'/n' - u/n)$ đến mức tối thiểu, khi đó, số lượng thấu kính trong hệ sẽ tăng lên.

Cũng từ công thức (6), chúng ta thấy rằng cầu sai có thể giảm hoặc triệt tiêu, nếu chọn được hệ số $k \neq 0$ phù hợp, nghĩa là thay vì thấu kính mặt cầu có thể sử dụng thấu kính mặt phi cầu. Như vậy khi tối ưu quang học, bằng việc lựa chọn được hệ số k thích hợp có thể sử dụng một hoặc một vài bề mặt phi cầu cũng sẽ nhận được giá trị cầu sai $W_{040} \approx 0$ mà không cần quan tâm đến số lượng mặt cầu. Việc thay thế nhiều mặt cầu bằng mặt phi cầu làm giảm số lượng thấu kính trong hệ quang, tuy nhiên vẫn bảo đảm chất lượng ảnh thu được theo các yêu cầu cụ thể [18, 19]. Biểu thức (7) dưới đây thể hiện hệ số đóng góp δS_i của thành phần phi cầu vào các hệ số quang sai tổng Siedel S_i [18, 19]:

$$\delta S_I = a; \delta S_{II} = a \left(\frac{h_1}{h} \right); \delta S_{III} = a \left(\frac{h_1}{h} \right)^2; \delta S_{IV} = 0; \delta S_V = a \left(\frac{h_1}{h} \right)^3; \quad (7)$$

$$a = \left(-k\rho^3 + \sum_{n=1}^N 2^{2n-1} \alpha_{2n} \right) h^{2n} (n' - n)$$

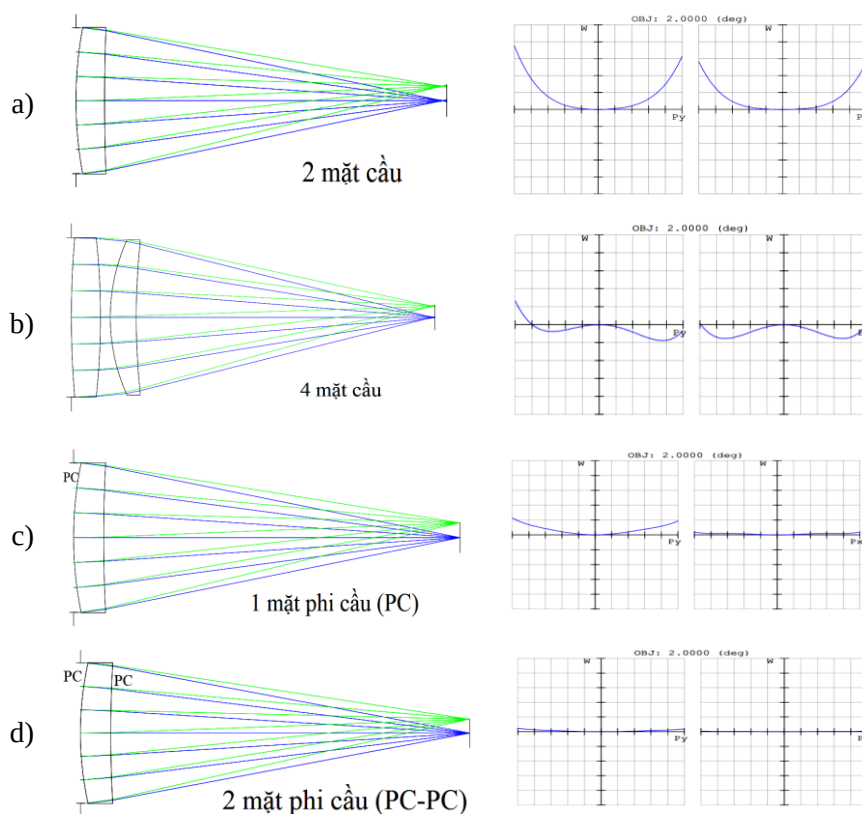
Trong đó, h_1 là khoảng cách hướng tâm của tia chính (chief ray) giao với bề mặt thấu kính [18, 19]. Trong quá trình thiết kế quang học, hệ số phi cầu và các hệ số hiệu chỉnh bậc bề mặt phi cầu α_{2n} được thay đổi, lựa chọn phù hợp để làm giảm quang sai tổng của cả hệ với số lượng mặt cầu và phi cầu đã xác định [18, 19]. Bậc bề mặt phi cầu sẽ được tăng dần cho đến khi bảo đảm các yêu cầu về chất lượng hệ quang.

Hình 1 là ví dụ so sánh giá trị cầu sai của hệ quang (các biểu đồ tương ứng bên phải) trong các trường hợp khác nhau: Khi sử dụng 1 thấu kính gồm 2 bề mặt cầu (hình 1a) có thể thấy cầu sai rất lớn [10]. Để giảm cầu sai phương án đầu tiên là sử dụng thêm một thấu kính cầu khác (hình 1b), khi đó, cầu sai đã giảm đáng kể.

Để giảm số lượng thấu kính trong hệ, thay vì thêm một thấu kính cầu, thì có thể sử dụng duy nhất một thấu kính có 1 bề mặt cầu và 1 bề mặt phi cầu (hình 1c). Theo kết quả trên hình với chỉ 1 bề mặt phi cầu được sử dụng, cầu sai của hệ quang đã nhỏ hơn so với phương án 2 khi sử dụng 2 thấu kính cầu. Để giảm tối đa cầu sai thì có thể sử dụng thấu kính có cả hai bề mặt phi cầu (hình 1d), khi đó, cầu sai gần như giảm bằng 0.

Hình 2 là một thiết kế vật kính máy ảnh tiêu cự $f = 53 \text{ mm}$, khẩu độ $F\# = 6.5 \text{ mm}$ [10]. Đối với vật kính cho máy ảnh các tiêu chí đánh giá chất lượng ảnh tạo bởi vật kính thường được sử dụng là: Hàm MTF, cầu sai, sắc sai, méo ảnh và tán xạ điểm ảnh. Khi không sử dụng thấu kính phi cầu để bảo đảm chất lượng ảnh phải dùng đến 9 thấu kính. Trong khi đó, khi áp dụng 3 bề mặt phi cầu thì số thấu kính sử dụng phải giảm xuống là 6. Bên cạnh đó, chất lượng ảnh khi sử dụng bề mặt phi cầu cũng tốt hơn khi không sử dụng.

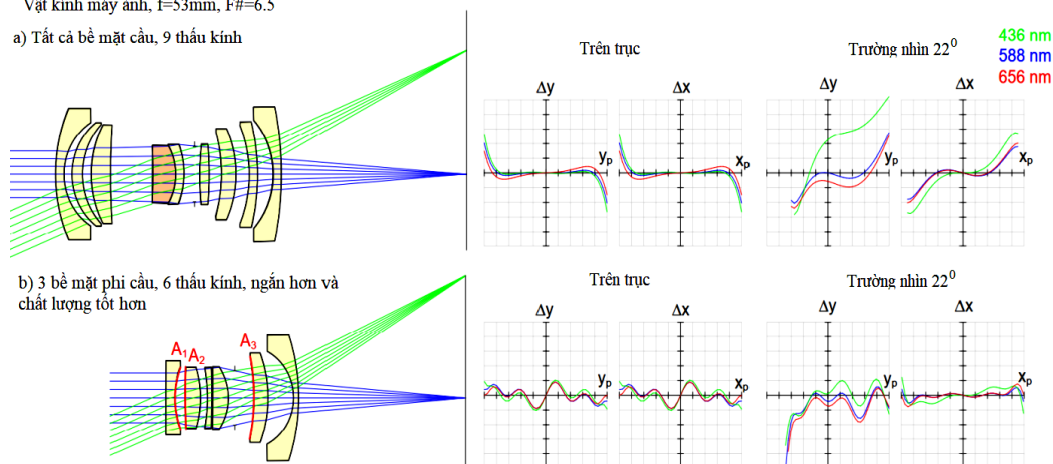
Như vậy, số lượng thấu kính khi sử dụng các thấu kính phi cầu giảm đến 35% qua đó khối lượng cũng như kích thước chung của vật kính cũng giảm xuống, đồng thời chất lượng ảnh cũng tăng lên đáng kể.



Hình 1. So sánh cầu sai của hệ quang khi sử dụng và không sử dụng bề mặt phi cầu.

Vật kính máy ảnh, $f=53\text{mm}$, $F\#=6.5$

a) Tất cả bề mặt cầu, 9 thấu kính



Hình 2. Thiết kế vật kính máy ảnh không sử dụng và có sử dụng bề mặt phi cầu.

Từ những ví dụ trên, có thể thấy rõ ưu điểm của thấu kính sử dụng mặt phi cầu trong các hệ thống quang học, trong đó có thể kể đến là: giảm số lượng thấu kính trong hệ quang, giảm khối lượng tổng thể (giảm chi phí nguyên vật liệu, giảm giá thành sản phẩm); đồng thời nâng cao chất lượng hình ảnh cho hệ quang.

Một nhược điểm khi sử dụng thấu kính phi cầu là kỹ thuật gia công phức tạp và chi phí gia công tốn kém. Tuy nhiên, trong thời gian gần đây nhờ sự phát triển của công nghệ gia công và các máy gia công chính xác chi phí gia công thấu kính phi cầu đã giảm đáng kể, bên cạnh đó độ chính xác gia công cũng được nâng cao. Vì vậy, các thấu kính phi cầu ngày càng được sử dụng rộng rãi.

3. THIẾT KẾ VẬT KÍNH ẢNH NHIỆT SỬ DỤNG BỀ MẶT PHI CẦU

Trong phần này, nhóm nghiên cứu trình bày thiết kế vật kính ảnh nhiệt trên phần mềm thiết kế Zemax và Autodesk Inventor để ứng dụng cho các thiết bị khí tài quan sát đa kênh cầm tay (ống nhòm đa kênh) bằng việc sử dụng các bề mặt phi cầu nhằm mục đích giảm số lượng thấu kính, tăng chất lượng ảnh và giảm khối lượng tổng thể của thiết bị. Đồng thời, sử dụng các chỉ tiêu chất lượng từ Zemax để đánh giá kết quả thiết kế.

3.1. Các tham số chính của vật kính ảnh nhiệt

Dựa vào một số chỉ tiêu kỹ thuật cần bảo đảm của khí tài quan sát đa kênh cầm tay có sử dụng kênh ảnh nhiệt, cần tiến hành thiết kế vật kính ảnh nhiệt có các tham số cơ bản như sau [17]: Tiêu cự: $f'_{vk} = 75 \text{ mm}$; Khẩu độ: $F\# = 1:1.1$; Trường nhìn: $2\omega = 10,36^\circ$.

Vật kính được sử dụng cho đầu thu ảnh nhiệt không làm lạnh Microbolometer, kích thước ma trận đầu thu 640×480 pixels; vùng phổ hoạt động: $\lambda = 8 \text{ }\mu\text{m}$ đến $14 \text{ }\mu\text{m}$. Vật kính thiết kế phải đảm bảo một số yêu cầu chính về chất lượng như sau [17]: Giá trị hàm MTF tại tần số 35 mm^{-1} lớn hơn 0,25; Tán xạ điểm ảnh nhỏ hơn $50 \text{ }\mu\text{m}$; Cầu sai nhỏ hơn 5 lần bước sóng.

3.2. Thiết kế vật kính ảnh nhiệt

Vật kính ảnh nhiệt sử dụng hai thấu kính phi cầu được thiết kế thay cho vật kính sử dụng ba thấu kính cầu có sơ đồ hệ quang ở hình 3. Vật kính với tiêu cự $f = 100 \text{ mm}$, $F\# = 1.2$, kích thước ma trận đầu thu 640×480 pixels đã được gia công và thử nghiệm thực tế [5].

Sử dụng phần mềm thiết kế quang học Zemax [13] để thiết kế vật kính. Quy trình thiết kế được thực hiện theo 6 bước cơ bản sau:

- Bước 1: Lựa chọn hệ quang xuất phát.
- Bước 2: Đánh giá chất lượng hệ quang xuất phát.
- Bước 3: Từ việc đánh giá thông số hệ quang, lựa chọn bề mặt thấu kính có sử dụng phi cầu bảo đảm cho kết quả tối ưu nhất.
- Bước 4: Lựa chọn các hàm mục tiêu tối ưu chất lượng hệ quang.
- Bước 5: Đánh giá chất lượng hệ quang sau tối ưu.
- Bước 6: Lặp lại các bước từ 3- 6 đến khi thu được hệ quang bảo đảm các yêu cầu.

Trong quá trình thiết kế, bước 3 và bước 4 là hai bước quan trọng nhất. Trên cơ sở đánh giá các yêu cầu về các chỉ tiêu thông số chất lượng với hệ quang đang thiết kế đã đạt hay chưa đạt so với các yêu cầu đã trình bày ở trên, tác giả tiến hành thay đổi giá trị các hàm mục tiêu tối ưu, cũng như các thông số hình học cũng như vật liệu của thấu kính như: Chiều dày thấu kính, bán kính, hệ số conic, vật liệu thủy tinh v.v.

Quá trình tối ưu người thiết kế có thể nhận được các giá trị tối ưu là cực trị địa phương, tuy nhiên một hệ quang tốt nhất và hoàn chỉnh nhất khi nhận được giá trị tối ưu là cực trị toàn cục. Điều này được đánh giá thông qua các tiêu chuẩn về chất lượng với mỗi loại hệ quang và so sánh với các hệ quang tương tự.

Hệ quang xuất phát là vật kính ảnh nhiệt 2 thấu kính sử dụng toàn bộ bề mặt cầu. Sau quá trình tối ưu, nhóm đề tài tăng dần số bề mặt phi cầu đến khi sử dụng hai bề mặt phi cầu nhận được hệ quang có các chỉ tiêu chất lượng phù hợp với yêu cầu đề ra. Việc tăng số lượng mặt phi cầu lớn hơn 2 mặt (3 hoặc 4 mặt) là không cần thiết vì: Càng nhiều bề mặt phi cầu càng gây phức tạp hơn trong quá trình gia công, và tạo nhiều sai số khi lắp ráp, tổng lắp sản phẩm trong khi đó

với 2 bề mặt phi cầu đã bảo đảm chất lượng tốt cho hệ quang được thiết kế khi sử dụng 2 thấu kính trong hệ.

Bậc bề mặt phi cầu cũng được lựa chọn theo hướng tăng dần đến khi nhận được hệ quang bảo đảm yêu cầu đề ra, bậc bề mặt của cả hai bề mặt phi cầu đều là 10. Kết quả thiết kế trên phần mềm Zemax thu được là vật kính gồm 2 thấu kính có các thông số quang học như bảng 1.

Bảng 1. Thông số hệ quang vật kính.

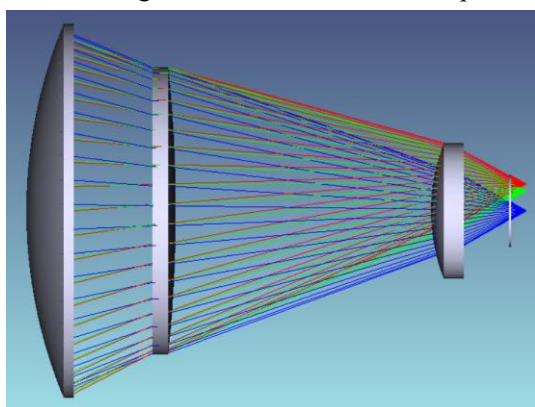
TT	Dạng bề mặt	Bán kính (mm)	Chiều dày (mm)	Vật liệu
1	Cầu	62,2	5,3	Germanium
2	Phi cầu	129,2	26,793	
-	Diafram		33,053	
3	Cầu	104,7	8,5	ZnSe
4	Phi cầu	23,835	7,974	
Vật kính: Tiêu cự f = 75 mm; Khẩu độ F# = 1.1; Trường nhìn $2\omega = 10,36^0$				

Thông số các bề mặt phi cầu của các thấu kính được thể hiện ở bảng 2.

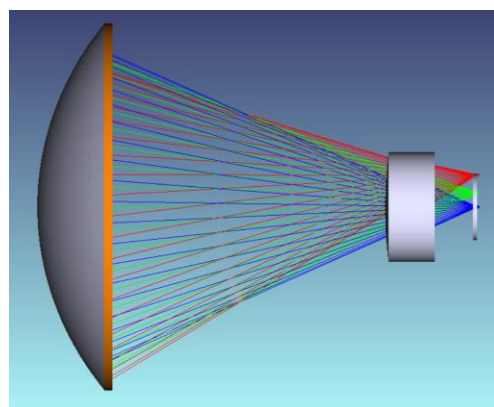
Bảng 2. Thông số các mặt phi cầu.

TT	Hệ số conic	Bậc bề mặt phi cầu				
		$\alpha_2 (mm^{-1})$	$\alpha_4 (mm^{-3})$	$\alpha_6 (mm^{-5})$	$\alpha_8 (mm^{-7})$	$\alpha_{10} (mm^{-9})$
Mặt 2	$2,038 \times 10^{-5}$	$2,018 \times 10^{-3}$	$1,985 \times 10^{-7}$	$-2,24 \times 10^{-11}$	$3,155 \times 10^{-14}$	$-8,024 \times 10^{-18}$
Mặt 4	$-5,034 \times 10^{-6}$	0,015	$1,494 \times 10^{-5}$	$-2,176 \times 10^{-9}$	$4,641 \times 10^{-9}$	$-2,479 \times 10^{-11}$

Hình 3a là sơ đồ hệ quang của vật kính ảnh nhiệt đã được thiết kế chế tạo trước đây [5], vật kính này không sử dụng ba thấu kính bề mặt cầu. Hình 3b là sơ đồ hệ quang của vật kính ảnh nhiệt sử dụng hai thấu kính với hai mặt phi cầu đã được thiết kế mới.



a. Vật kính ảnh nhiệt tiêu cự $f = 100$ mm đã được thiết kế chế tạo [5].



b. Vật kính ảnh nhiệt tiêu cự $f = 75$ mm sử dụng bề mặt phi cầu của bài báo.

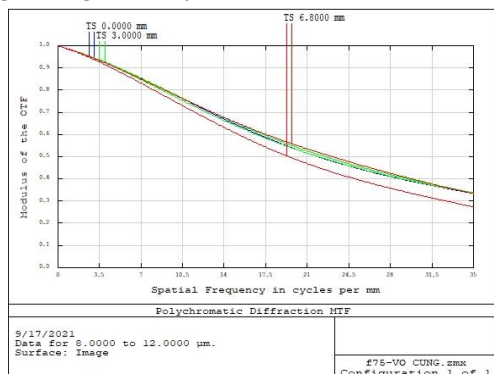
Hình 3. Sơ đồ hệ quang vật kính ảnh nhiệt.

Theo hình 3b, hệ quang của vật kính sử dụng bề mặt phi cầu có kết cấu đơn giản, gọn nhẹ chỉ gồm 2 thấu kính, so với vật kính $f = 100$ mm đã được chế tạo 3 thấu kính (hình 5a).

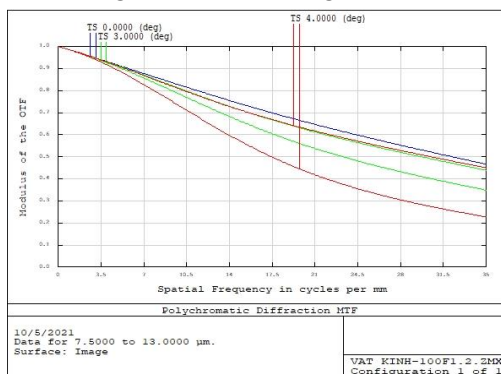
Các chỉ tiêu chất lượng của thiết kế được phần mềm đưa ra dưới dạng đồ thị được mô tả ở hình 4. Các hình 4a, 4c, 4e thể hiện các thông số đánh giá chất lượng hệ quang thiết kế của vật kính $f = 75$ mm sử dụng thấu kính phi cầu, để so sánh với các hình 4b, 4d, 4f là các thông số tương tự của vật kính $f = 100$ m không sử dụng thấu kính phi cầu.

Các kết quả về chỉ tiêu chất lượng thiết kế hệ quang vật kính đều đảm bảo các tiêu chí: Hàm

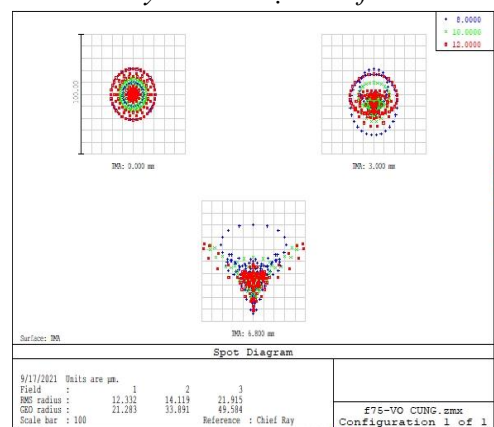
MTF tại hình 6a có giá trị lớn, tại tần số 35 mm^{-1} giá trị của hàm số là 0,3. Trên hình 6c giá trị tán xạ điểm ảnh nhỏ hơn $48 \mu\text{m}$. Trên hình 6e cầu sai có giá trị lớn nhất chỉ bằng 2 lần bước sóng. Các giá trị này đều ở mức độ tốt đối vật kính sử dụng cho đầu thu dạng ma trận [11-16].



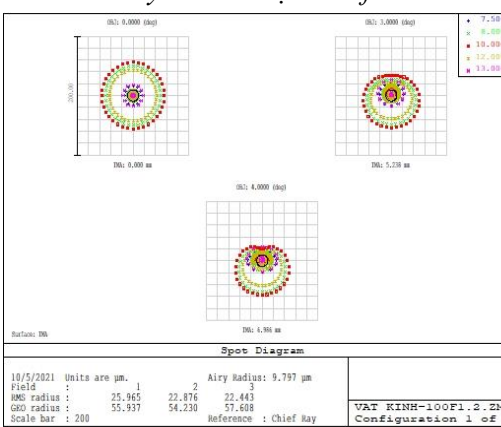
a. Hàm truyền MTF vật kính $f = 75 \text{ mm}$.



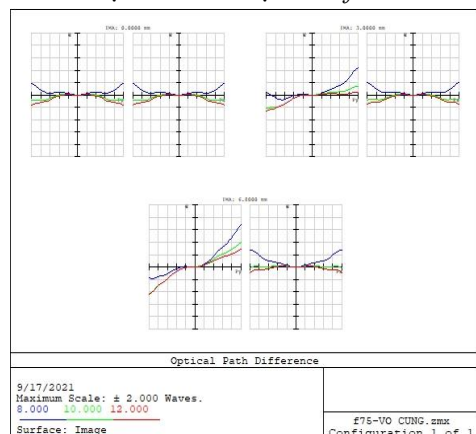
b. Hàm truyền MTF vật kính $f = 100 \text{ mm}$.



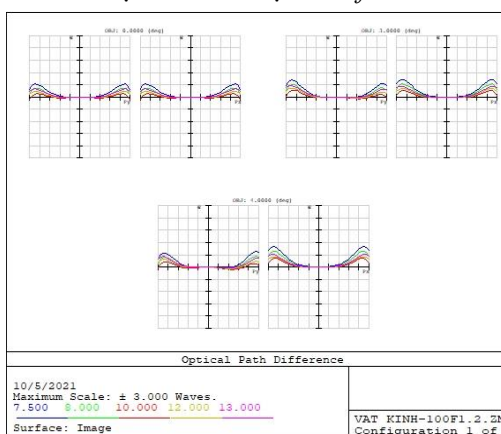
c. Tán xạ điểm ảnh vật kính $f = 75 \text{ mm}$.



d. Tán xạ điểm ảnh vật kính $f = 100 \text{ mm}$.



e. Cầu sai vật kính $f = 75 \text{ mm}$.



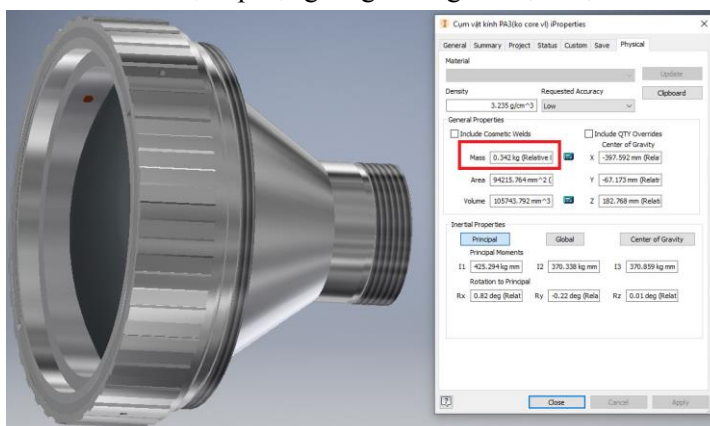
f. Cầu sai vật kính $f = 100 \text{ mm}$.

Hình 4. Các tham số đánh giá chất lượng hệ quang vật kính ảnh nhiệt đã thiết kế.

So sánh với các thông số chất lượng của vật kính tiêu cự $f = 100 \text{ mm}$, không sử dụng thấu kính phi cầu, các chỉ tiêu gần như tương đương, thậm chí với giá trị hàm MTF mức độ đồng đều của vật kính ảnh nhiệt tiêu cự $f = 75 \text{ mm}$ tốt hơn vật kính tiêu cự $f = 100 \text{ mm}$, với giá trị cầu sai vật kính tiêu cự $f = 75 \text{ mm}$ cũng cho giá trị tốt hơn, 2 lần bước sóng so với 3 lần bước sóng của vật kính $f = 100 \text{ mm}$. Như vậy, qua các phân tích đánh giá trên phần mềm thiết kế quang học, vật

kính được thiết kế sử dụng thấu kính phi cầu đáp ứng đầy đủ các chỉ tiêu về chất lượng, cũng như bảo đảm chất lượng khi so sánh với một vật kính không sử dụng thấu kính dạng phi cầu đã được gia công và thử nghiệm trên thực tế.

Dưới sự hỗ trợ của phần mềm thiết kế quang học Zemax và phần mềm thiết kế 3D Autodesk Inventor, nhóm nghiên cứu đã tiến hành thiết kế hoàn thiện 3D tổng thể cho vật kính ảnh nhiệt như hình 5. Kết quả thiết kế sẽ được áp dụng để gia công chế tạo thực tế.



Hình 5. Kết quả thiết kế 3D vật kính ảnh nhiệt sử dụng thấu kính phi cầu.

Hình 5 là kết quả thiết kế 3D tổng thể vật kính ảnh nhiệt sử dụng 2 thấu kính phi cầu. Với phần cơ khí và quang học của vật kính đều sử dụng các vật liệu xác định, phần mềm thiết kế tính toán được khối lượng của các thành phần cụ thể như sau: khối lượng của 02 thấu kính: 112,5 g; khối lượng của phần cơ khí: 229,5 g; khối lượng tổng thể vật kính ảnh nhiệt được thiết kế: 342 g.

Với kết quả thiết kế nêu trên, nếu sau khi gia công chi tiết quang-cơ theo đúng thiết kế thì so với các vật kính ảnh nhiệt có cùng thông số tiêu cự $f = 75$ mm của nước ngoài được chào bán trên thị trường như hình 6 có khối lượng khoảng 450 - 530 g, khối lượng vật kính ảnh nhiệt sử dụng thấu kính phi cầu đã thiết kế có khối lượng nhỏ hơn hẳn, giảm khối lượng từ 24% - 35%, phù hợp với tiêu chí giảm khối lượng cho toàn vật kính đã đặt ra.



a. Vật kính ảnh nhiệt SupIR 75 mm F#1.0 của Orphir, khối lượng 530g.



b. Vật kính ảnh nhiệt 75 mm F#1.5 của Wavelength OE, khối lượng 450g.

Hình 6. Một số vật kính ảnh nhiệt không dùng mặt phi cầu (nguồn Internet).

Như vậy, với các kết quả phân tích các chỉ tiêu chất lượng liên quan đến chất lượng ảnh, cũng như kết quả đánh giá về khối lượng bằng phần mềm thiết kế, có thể thấy rằng vật kính ảnh nhiệt được thiết kế sẽ đạt được các tiêu chí: giảm số lượng thấu kính từ 3 xuống 2; chất lượng hình ảnh bảo đảm; giảm khối lượng.

Với những kết quả thiết kế vật kính ảnh nhiệt đã đạt được, có thể sử dụng để tiến hành gia công chế tạo vật kính ảnh nhiệt sử dụng thấu kính phi cầu.

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở phân tích lý thuyết và kết quả mô hình đã mô phỏng bài báo đã đề xuất thiết kế và tính toán các tham số quang cho vật kính ảnh nhiệt sử dụng hai thấu kính có mặt phi cầu. Kết quả thiết kế vật kính cho thấy vật kính ảnh nhiệt được thiết kế đảm bảo tiêu chí tăng chất lượng ảnh, đồng thời giảm khối lượng của vật kính.

Với kết quả thiết kế đã đạt được, nhóm nghiên cứu sẽ tiến hành gia công chi tiết quang-cơ tại các cơ sở gia công quang học và cơ khí chính xác. Những vấn đề cần giải quyết được đặt ra là việc bảo đảm gia công các chi tiết quang-cơ theo đúng thiết kế, đặc biệt là các sai số không tránh khỏi trong quá trình gia công các bề mặt phi cầu. Tiếp đến là các vấn đề về lệch trục, xoay trục, sai lệch khoảng cách giữa các thấu kính v.v. hình thành trong khâu lắp ráp, tổng lắp và hoàn thiện sản phẩm làm ảnh hưởng đến chất lượng ảnh.

Trong giai đoạn nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả sẽ thực hiện gia công các chi tiết quang-cơ, tiến hành tổng lắp, hiệu chỉnh vật kính ảnh nhiệt và lắp ráp với đầu thu ảnh nhiệt để tạo thành mô đun ảnh nhiệt hoàn thiện. Sản phẩm hoàn thiện sẽ được thử nghiệm thực tế và các phân tích, đánh giá vật kính ảnh nhiệt sử dụng các bề mặt phi cầu sau chế tạo so với vật kính thiết kế trên phần mềm sẽ được trình bày ở bài báo tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Akula, Aparna & Ghosh, Ripul & Sardana, Hk. (2011). “*Thermal Imaging and Its Application in Defence Systems*”. 1391. 10.1063/1.3643540.
- [2]. [2]. P. Đ. Quý, “*Tính toán thiết kế quang học vật kính đêm cho kính trường xe hỗn hợp ngày đêm trên xe chiến đấu bộ binh BMP-1*,” Tạp chí NCKH&CNQS, số Đặc san FEE 10-2019, tr 266-272.
- [3]. [3]. L. N. Cường, Báo cáo tổng kết đề tài “*Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo kính ngắm ảnh nhiệt cho súng tiêu liên Akn*”, 2019.
- [4]. P. S. Lâm, “*Nghiên cứu thiết kế chế tạo module tạo ảnh từ ma trận thu bức xạ nhiệt sử dụng công nghệ FPGA*”, Tạp chí NCKH&CNQS, Số 53, 02-2018, tr 135-142.
- [5]. N. N. Sơn, Báo cáo chuyên đề, đề tài “*Nghiên cứu thiết kế, chế tạo kính pháo thủ ngày, đêm theo nguyên lý ảnh nhiệt, tích hợp đo xa laser của xe tăng T54B, T55*”, 2020.
- [6]. N. A. Tuấn, “*Tính toán thiết kế và chế tạo hệ quang trộn ảnh kết hợp khuếch đại ánh sáng yếu và ảnh nhiệt*,” Tạp chí NCKH&CNQS, số Đặc san FEE 10-2020, tr 212-221.
- [7]. Đ. C. Toàn, “*Áp dụng phương pháp tối ưu quang học hạn chế hiệu ứng Narcissus trong các thiết bị ảnh nhiệt*”, Tạp chí NCKH&CNQS, Số 74, 8-2021, tr 99-105.
- [8]. A. Y. A. Hajnoor, F. M. B. Elshafia, and M. M. Ahmed, “*IR optical system design of uncooled thermal imaging camera in long band (8–12μm)*,” IOSR Journal of Applied Physics, Volume 6, Issue 5 Ver. III (Sep.-Oct. 2014), pp. 32-40.
- [9]. G. I. Kweon and C. H. Kim, “*Aspherical Lens Design by Using a Numerical Analysis*,” Journal of the Korean Physical Society, Vol. 51, No. 1, July 2007, pp. 93-103.
- [10]. J. Kumler, “*Designing and Specifying Aspheres for Manufacturability*,” Proceedings of SPIE Vol. 5874 (SPIE, Bellingham, WA, 2005).
- [11]. Грузевич Ю.К. “*Опτικο-электронные приборы ночного видения*”, Москва Физмалит 2014.
- [12]. Якушенков Ю.Г. “*Теория и расчет опτικο-электронных приборов*”.-М.: Логос, 1999.-480 с.
- [13]. ZEMAX Optical Design Program, Users Guide, ZEMAX Development Corporation, 9 June, 2009.
- [14]. I. Singh “*Design of infrared optical system*”, International Conference on Optics and Photonics, India, 2009.
- [15]. M. J. Riedl, “*Optical Design Fundamentals for Infrared Systems*”, Tutorial Texts in Optical Engineering, Volume TT20, ISBN 0-8194-1935-4, 1995.
- [16]. R. E. Fischer, T. G. Biljana, and P. R. Yoder, “*Optical System Design*”, 2nd Ed, McGraw-Hill, New York, 2008.
- [17]. N. A. Tuấn, Báo cáo chuyên đề, đề tài: “*Nghiên cứu thiết kế, chế tạo khí tài quan sát đa kênh cầm tay*”

- kết hợp đo xa laser ứng dụng cho các lực lượng thuộc Bộ Tư lệnh Thủ đô Hà Nội*", 2020.
 [18].José Sasián, "Introduction to Lens Design", Cambridge University Press, 2019.
 [19].Rainer Schuhmann, "Description of aspheric surfaces", Adv. Opt. Techn. 2019; 8(3–4): 267–278.

ABSTRACT

CALCULATION AND DESIGN OF THERMAL OBJECTIVE LENS USING ASPHERICAL LENS FOR HANDHELD OBSERVATION DEVICES

Thermal imaging objective lens using the aspherical lens to increase the quality of the observed image, reduce the number of lenses, thereby reducing the weight of the thermal image objective lens has been proposed and calculated. The design results using Zemax software show that the MTF function, spherical aberration, chromatic aberration, image distortion, and pixel dispersion are equivalent and better when compared to the image observation quality of the thermal imaging objective lens using three spherical lenses. These results can be applied to manufacture thermal imaging objectives lens for handheld multichannel observation devices.

Keywords: Multichannel observation devices; Thermal image; Asphere; Zemax.